Dr.habil. Ralf E. Krupp
Flachsfeld 5
31303 Burgdorf

Telefon: 05136 / 7846 — e-mail: ralf.krupp@cretaceous.de

Memorandum

Wege zu einer umweltverträglicheren Kaliindustrie

Dr.habil. Ralf E. Krupp
(Geologe, Geochemiker)

Burgdorf, 14. Juli 2014

Vorwort

Die Umweltprobleme des Kalibergbaus sind so alt wie der Kalibergbau selbst. In Deutschland sind nach der Wiedervereinigung neue Lösungsansätze möglich und aufgrund stringenterer Gesetzgebungen, insbesondere durch die Europäische Union, auch erforderlich. Das öffentliche Bewusstsein für die Umweltschäden des Kalibergbaus und deren langfristige Folgen ist gewachsen, und ebenso der Widerstand gegen neue Projekte der Kaliindustrie. Ein Schwerpunkt der Konflikte ist sicherlich die Salzbelastung von Werra und Weser durch die hessischen und thüringischen Kalistandorte, aber auch in Sachsen-Anhalt und Niedersachsen stehen derzeit die Pläne der Kaliindustrie in der Kritik. Gegen die Bundesrepublik Deutschland läuft derzeit auch ein Vertragsverletzungsverfahren der EU-Kommission wegen der Entsorgungspraktiken der Kali-Industrie, deren Vereinbarkeit mit EU-Recht, insbesondere der Wasserrahmenrichtlinie, nicht gesehen wird.

Ein vielversprechender Versuch, die unterschiedlichen Interessensgruppen zusammenzubringen um einen Konsens zu erarbeiten, war die Gründung des "Runden Tisches Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion" durch die Länder Thüringen und Hessen gemeinsam mit der K+S AG im März 2008. Immerhin ist im Laufe der Diskussionen die überfällige Anpassung einzelner Produktionsbereiche an den Stand der Technik im Rahmen des sogenannten „360 Millionen Euro Paketes“ nachgeholt worden, wodurch weitere graduelle Verbesserungen bei der Wasserqualität von Werra und Weser erwartet werden dürfen.

Die Kaliindustrie hat sich jedoch den Empfehlungen des (von ihr selbst mitgegründeten) Runden Tischs vom 9. Februar 2010 nicht angeschlossen. Jüngste Ankündigungen der K+S AG, wonach man auch zukünftig auf der Einleitung von Kaliabwässern in die Werra und die Verpressung in den Untergrund beharren will (hr online, 2014), stellen aus Sicht des Umweltschutzes den Sinn und Zweck des Runden Tischs in Frage. Schließlich ist in den vergangenen Tagen auch noch die Leitung des Runden Tischs selbst, mitsamt ihrer „wissenschaftlichen Begleitung“, durch eine einseitige, nicht autorisierte und nicht vom Plenum gebilligte Stellungnahme gegenüber dem Umweltbundesamt (Leitung Runder Tisch, 2014) ins Zwielicht geraten.

Der Ansatz und Auftrag des Runden Tischs war und ist noch immer auf die Betrachtungen der Abwasserproblematik eingeengt. Die Abwasserproblematik ist jedoch aufs engste mit anderen Aspekten des Kalibergbaus verquickt, insbesondere der Problematik der Rückstandshalden, des versatzlosen Kaliabbaus sowie den Stilllegungs- und Verwahrungskonzepten für Kalibergwerke. Im Sinne einer umfassenden und grundsätzlichen Problemlösung ist daher eine ganzheitliche und komplexe Betrachtung geboten.

Einleitung

Zahlreiche Einzelmaßnahmen haben in der Vergangenheit zwar zu graduellen Verbesserungen bei der Salzbelastung der Oberflächengewässer geführt, aber um den Preis einer fortgesetzten Verpressung von Kaliabwässern und einer eskalierenden Versalzung von Süßwasserressourcen, um den Preis einer verstärkten Aufschüttung von Rückstandshalden („Kalihalden“) und damit der Bildung von noch mehr Haldenwässern, um den Preis höherer Wertstoffverluste (höhere Konzentrationen von K, SO_4 und Mg) in den Abwasserströmen, und um den Preis einer schlechteren Lagerstättennutzung durch selektive Gewinnung leicht aufzubereitender Sylvinite und Hartsalze und Meidung Carnallit-reicher Rohsalze. Die bescheidenen Erfolge auf der Abwasserseite beruhen also nicht auf innovativen Technologien, sondern auf nur kurzfristig wirksamen Verlagerungen der Probleme von einem Umweltsektor auf den anderen und auf „Rosinenpickerei“, oder auch Raubbau.

Außer durch den selektiven Abbau werden weitere massive Abbauverluste zwischen 30 und 60 Prozent (RP Kassel, 2007) des Kaliflözes durch das versatzlose Kammer-Pfeiler-Abbauverfahren verursacht. Die Probleme werden weiter verkompliziert und verschärft, indem in die Abbauhohlräume zwischen den Stützpfeilern toxische, bergbaufremde Abfälle eingelagert werden, teilweise in Untertagedeponien, teilweise als sogenannter Bergversatz. Hierdurch wird eine künftige Nachgewinnung der Kalisalz-Pfeiler effektiv verhindert und die darin enthaltenen Ressourcen werden faktisch vernichtet (Krupp, 2011).

Gleichzeitig und als Konsequenz des sogenannten „versatzlosen" Kammer-Pfeiler-Abbauverfahrens (tatsächlich werden ja so viele bergbaufremde Sonderabfälle versetzt wie europaweit akquiriert werden können) werden die bergbaueigenen Aufbereitungsrückstände auf Halden deponiert (inzwischen rund 1 Milliarde Tonnen), wodurch neue Umweltprobleme entstehen. Auch hier werden Umweltprobleme nicht gelöst, sondern nur gegeneinander ausgetauscht und verschlimmert. Die Versalzungspotentiale der deutschen Kalihalden sind nämlich mit rund 2.500 Milliarden m³ (= 2.500 km³) Süßwasser wahrhaft gigantisch. Zwar gilt Salz (NaCl) gemeinhin als wenig giftig (Wassergefährdungsklasse 1), jedoch macht auch hier, frei nach Paracelsus, „die Dosis das Gift".

Nach Überzeugung des Verfassers gibt es umwelt- und ressourcen-schonende Alternativen, bei denen die Aufbereitungsrückstände versetzt werden. Diese Alternativen, die auch wirtschaftlich tragbar sind, würden eine weitergehende Nutzung der Kalilagerstätten ermöglichen. Im Ergebnis würde nicht nur die Umwelt profitieren und die Reichweite der Lagerstätten um Jahrzehnte vergrößert, sondern mit ihr langfristig auch die Wertschöpfung, die Erträge und die Steuereinnahmen, sowie das Angebot an Arbeitsplätzen in den betroffenen Regionen.

Bei einer intelligenten Gesamtkonzeption bleibt auch in Kalibergwerken noch Raum für die grundsätzlich sinnvolle Untertagedeponierung / Verwertung gefährlicher bergbaufremder Abfälle, aber erst nach Rückgewinnung der Kali-Stützpfeiler. Soweit bei einem regulären Versatzbergbau aus volumetrischen Gründen nicht versetzbare Rückstandssalze übrig bleiben sollten, können diese auch stofflich verwertet werden. Die einer stofflichen Verwertung entgegen stehenden Gründe sind weniger technischer oder stofflicher Natur, sondern vor allem den bestehenden wirtschaftlichen Strukturen und fehlender Kooperation zwischen unterschiedlichen Industriezweigen (oder gar zwischen Tochtergesellschaften des K+S Konzerns) geschuldet. Es macht keinen Sinn in Deutschland jährlich ca. 15 Millionen Tonnen Steinsalz bergmännisch oder durch Solungsbetrieb aus Primärlagerstätten neu zu gewinnen, wenn gleichzeitig rund eine Milliarde Tonnen Steinsalz in Form von Rückstandssalzen des Kalibergbaus auf Halde liegen und jedes Jahr noch rund 30 Millionen Tonnen hinzukommen.

Neben den festen Abfällen stellen die Produktionsabwässer und Haldenwässer eine besondere Entsorgungsproblematik dar. Es handelt sich jeweils um hochkonzentrierte Salzlösungen mit rund 350 Gramm gelöster Salze pro Liter Lösung. Allein im Werk Werra fallen jährlich weiterhin ca. 4 Millionen m³ Produktionsabwässer und 2 Millionen m³ Haldenwässer (Tendenz steigend) an. Die bisher verfügbaren Entsorgungswege, die Einleitung in die Werra und die Versenkung im Untergrund, müssen aus ökologischen und gesetzlichen Gründen beendet werden. Die Kaliindustrie hat im Grunde zwei Optionen, zwischen denen sie wählen kann: Die Entsorgung über eine Abwasserpipeline in die Nordsee oder die Eindampfung der Abwässer unter Nutzung enthaltener verwertbarer Salze.

Abbauverfahren

Die Kaliwerke an den Standorten Zielitz (Sachsen-Anhalt), Unterbreizbach (Thüringen), sowie Hattorf, Wintershall und Neuhof-Ellers (Hessen) bauen im Wesentlichen Kalisalze in "flacher Lagerung" ab. Das

heute bevorzugte versatzlose Kammer-Pfeiler-Abbauverfahren (room and pillar mining) hat den großen Nachteil, dass (je nach Abbautiefe und Festigkeit des Salzgesteins) zwischen 30 und 60 Prozent des Kaliflözes als Stützpfeiler benötigt werden, somit also sehr hohe Abbauverluste resultieren (RP Kassel, 2007).

Die zugrunde liegende gebirgsmechanische Bemessung der Stützpfeiler sorgt zwar für Standsicherheit und für kleine Konvergenzraten während der Betriebsphase. Über längere Zeiträume (Jahrhunderte) betrachtet findet jedoch eine weitgehende Konvergenz offener Hohlräume und damit auch eine merkliche Absenkung des Bodens an der Oberfläche statt, die im Endzustand mehrere Meter betragen kann. Die Folgen solcher Bodensenkungen sind bislang (zumindest öffentlich) noch nicht betrachtet und bewertet worden, eben so wenig die damit zusammenhängende Frage, wie dereinst eine langzeitsichere Stilllegung und Verwahrung der ausgebeuteten Bergwerke erfolgen soll – luftgefüllt, geflutet, versetzt?

Die bisherige Praxis zeigt, dass aufgegebene Kalibergwerke geflutet werden, seit einigen Jahren sogar mit Süßwasser! (BUND, 2007; LBEG, 2014). Durch Konvergenz der gefluteten Hohlräume muss in der Nachfolge mit einer Auspressung des Flutungsmediums (gesättigte und ggf. kontaminierte Salzlösungen) ins Grundwasser und mit massiven, permanenten und weitreichenden Grundwasserschäden gerechnet werden. Eine öffentliche Diskussion der Folgen und eine Berücksichtigung der Erkenntnisse bei bergrechtlichen Genehmigungen der Verwahrungskonzepte sind überfällig. Es werden nur ständig weitere Tatsachen geschaffen, ohne dass die Konsequenzen zu Ende gedacht worden sind. --- Dies ist der „Stand der Technik“.

Doch es gibt praxiserprobte, bessere Abbauverfahren, die insbesondere im Südharz-Revier unter ähnlichen geologischen Voraussetzungen jahrzehntelang erfolgreich angewandt worden sind und die fast vollständige Ausbeutung der Kalisalze ermöglicht haben. Bei dem dort üblichen Örterbau mit Langpfeilern wurden anstatt der etwa quadratischen Stützpfeiler lange, rippenförmige Pfeiler stehen gelassen, zwischen denen in einer ersten Phase das Kaliflöz in Langkammern gewonnen wurde. Nach dem möglichst firstbündigen Einbringen von Spülversatz in die Langkammern der ersten Abbau-Phase und dem nachfolgenden Kraftschluss mit der Hangendschwebe konnten die Langpfeiler (Kalisalz) in einer Nachgewinnungsphase entfernt werden. Dabei übernahmen die zuvor eingebrachten Versatzmassen innerhalb von Monaten bis wenigen Jahren die Stützfunktion für das Deckgebirge (Duchrow, 1990; Duchrow und Schilder, 1985; Rauche et al., 2001; Krupp, 2011). Durch diese Vorgehensweise wird die Lagerstätte fast vollständig nutzbar, die Konvergenz und damit die Bodenabsenkungen und Grundwasserschäden werden minimiert, und es entstehen über Tage keine Kalihalden mit all ihren Folgeproblemen. --- Dies ist die „Beste Verfügbare Technik“ (BVT) im Sinne der EU-Gesetzgebung, die auch genehmigungsrechtlich einzufordern wäre.

Rückstandshalden, Haldenwässer, Grundwasserversalzung, Bergversatz

In Deutschland befinden sich 20 Rückstandshalden mit einer Gesamtmasse von über 1 Milliarde Tonnen NaCl. Die vier größten Halden mit den jeweils bereits genehmigten Mengen sind Zielitz mit rund 350, Wintershall 275, Hattorf 205 und Neuhof-Ellers 160 Millionen Tonnen. Keine dieser Halden verfügt über eine durchgängige und wirksame Basisabdichtung. Erst für spätere Haldenerweiterungen wurden Basisabdichtungen vorgeschrieben. In allen zielgerichteten Untersuchungen wurden im Untergrund von Kalihalden massive Versalzungen nachgewiesen, die sich mit der Grundwasserströmung immer weiter ausbreiten.

Eine Kalihalde kann infolge der mittleren jährlichen Niederschläge (ca. 600 mm/a) und der darin löslichen Salzmengen bis zu 10 cm/a abgetragen werden (Krupp, 2003). Bei diesem Rechenansatz wird

ein über die Haldenfläche gleichmäßiger Abtrag angenommen, d.h. die Haldengeometrie bleibt konstant (im mathematischen Sinne „ähnlich“), aber der Haldenkörper wird kleiner. Eine Kalihalde wie beispielsweise Wintershall, mit 250 m Höhe über Grund, hat demnach eine „Lebenserwartung“ (Standzeit) von mindestens 2500 Jahren, bevor sie durch Niederschläge vollständig weggelöst und in die Gewässer eingetragen sein wird.

Durch Abdeckung von Kalihalden kann der oberflächlich abfließende und verdunstende Anteil des Niederschlags vergrößert und der versickernde Anteil verkleinert werden (Wasserbilanz analog Grundwasserneubildung). Hierdurch kann zwar die jährlich anfallende Menge salzhaltiger Haldenwässer verringert werden, doch wird dadurch die Zeitspanne über welche solche Salzwässer anfallen entsprechend verlängert. Eine Verringerung auf beispielsweise 20 Prozent würde eine Verfünffachung der Standzeit und damit der Dauer der Haldenwasserproblematik bedeuten.

Rückstandshalden sind „tickende Zeitbomben“. Eine Tonne Salz (NaCl) enthält 607 kg Chlorid-Ionen. Diese Menge wird bei weiterer Verdünnung mindestens 2428 m³ Süßwasser unbrauchbar machen, indem der Chloridgrenzwert der Trinkwasserverordnung (250 mg/L Cl) überschritten wird. Das Maximum der Grundwasserversalzung wird wegen der kumulierenden Salzgehalte im Untergrund erst gegen Ende der Standzeit einer Kalihalde erreicht werden, wenn die Halde bereits weitgehend abgeregnet ist. Wegen des heute erst jungen Alters der Kalihalden stehen wir erst ganz am Anfang der Entwicklung. Die Grundwasserversalzung wird sich aber bis zur Erreichung ihres Höhepunktes in einigen tausend Jahren stets weiter verschärfen.

Es ist auch nicht anzunehmen, dass wegen der langen Zeiträume von einigen tausend Jahren das Salz sich „verteilen“ würde. Um das durch eine Tonne Rückstand versalzene Grundwasser (rund 2500 m³) durch neugebildetes Süßwasser zu ersetzen, wird z.B. bei einer Grundwasserneubildung von 10 Prozent und einem Jahresniederschlag von 600 mm ein Einzugsgebiet von 41.667 m² benötigt. Hochgerechnet auf eine versickerte Salzmenge z.B. von 1 Milliarde Tonnen Salz über einen Zeitraum von 1000 Jahren würde demnach die Grundwasserneubildung eines Einzugsgebiets von 41.667×10^6 m² oder 41.667 km² benötigt (Fläche Niedersachsens: 47.613 km²; Einzugsgebiet Weser: 41.094 km²). --- Dies ist die Dimension des Problems. Je eher die Salzeinträge gestoppt werden, desto besser. Jedes weitere Zuwarten ist verantwortungslos!

Haldenwässer die nicht versickern müssen oberirdisch abgeleitet werden. Derzeit fallen allein an den Standorten Neuhof-Ellers, Hattorf und Wintershall zusammen jährlich rund 2 Millionen m³ fast gesättigte Salzlösungen an, die früher teilweise versenkt wurden, gegenwärtig in die Werra eingeleitet werden. Auch an anderen Standorten wurden / werden Haldenwässer teilweise gezielt ins Grundwasser versenkt. Da die Kalihalden und mit ihnen die Haldenwasserproblematik weit (Jahrtausende) über die Betriebsdauer der Kaliwerke hinaus fortwirken werden, muss hierfür eine nachhaltige Lösung gefunden werden. Vorher darf eine Entlassung der Kaliwerke aus der Bergaufsicht im Rahmen eines Abschlussbetriebsplans nicht erfolgen. Eine solche nachhaltige Lösung kann eigentlich nur im Rückbau der Kalihalden liegen.

Finanzierbar kann ein solcher Rückbau nur sein, wenn das enthaltene Salz aufbereitet und vermarktet wird. Beispiele für die Verwertung von Rückstandssalzen des Kalibergbaus finden sich im Ausland. In Saskatchewan werden z.B. durch NSC Minerals Inc. Fabrikrückstände der Lagerstätten Rocanville und Vanskoy zu Salzprodukten recycelt. Die Kapazität der beiden Anlagen liegt bei über 6000 Tonnen pro Tag (Canadian Minerals Yearbook, 2009). In dem kalten Winter 2010 wurden auch in Deutschland, aufgrund von Lieferengpässen für Streusalz, von einem hannoveraner Unternehmer sogar alte Abteufhalden von Kalischächten zu Streusalz aufgearbeitet (HAZ, 2010). --- Das Recycling von Rückstandssalzen ist also Stand der Technik und kann daher auch vom Verursacher K+S erwartet werden.

Selbst die Leitung des Runden Tischs schreibt: "*Im Sinne einer langfristigen Perspektive können Rückstandshalden irgendwann aber auch zu Rohstoffhalden werden und sich dann die Frage stellen, ob man, statt ein neues Steinsalzbergwerk zu eröffnen oder weiter Steinsalz in einem bestehenden Werk abzubauen, nicht besser die aufgehaldeten Rückstände verwendet.*" Nicht irgendwann, sondern hier und jetzt sollte man sich dieser Frage stellen, doch sieht sich K+S bislang offenbar nicht in der Pflicht. --- Wenn eine künftige stoffliche Verwertung der Halden wahrscheinlich ist, dann verbieten sich aber auch Abdeckmaßnahmen, die zu einer Verunreinigung der Haldensalze führen und den Zugang erschweren.

Die Aufschüttung von Kalihalden ist weder technisch noch wirtschaftlich notwendig. Eine Übertragbarkeit der Erfahrungen aus dem Südharz-Revier über die Anwendung des Spülversatzverfahrens zur untertägigen Beseitigung von Fabrikrückständen auf andere Kalilagerstätten der flachen Lagerung ist ohne weiteres gegeben, weil die geologischen und bergbaulichen Verhältnisse hinsichtlich Lagerung, Mächtigkeit, Tiefe, Maschinentechnik etc. vergleichbar sind. K+S setzt selbst das Spülversatzverfahren seit langer Zeit ein und verfügt über einschlägige Erfahrungen (z.B. Schlotzhauer und Jacob, 2005).

Zu Unrecht wird auch immer wieder behauptet, dass das bergbaulich geschaffene Hohlraumvolumen aufgrund der Auflockerung der Rückstände gegenüber gewachsenem Salzgestein die gesamte Rückstandsmenge nicht aufnehmen könne, insbesondere nicht während der Gewinnungsphase des Bergwerks.

Untertage-Hohlräume entstehen als zwangsläufige Begleiterscheinung der bergmännischen Rohsalz-Gewinnung. Steinsalz und Kalisalze besitzen (im gewachsenen Zustand) Dichten um 2200 kg/m³, so dass je 2,2 Tonnen Rohsalzförderung ein Hohlraum von ca. 1 m³ entsteht. Würde dieser Hohlraum im Spülversatzverfahren versetzt, so könnte er ca. 1,7 Tonnen Fabrikrückstände aufnehmen (Porosität plus unversetzte Zwickel ca. 23 Volumen-Prozent) (Vgl. Bodenstein et al. 1999, 2001; Rauche et al., 2001). Der infolge der Porosität ungenutzte Poren- und Zwickelraum entspricht volumenmäßig in etwa dem Wertmineral-Anteil des Rohsalzes, der ja abgetrennt wird, so dass trotz der Auflockerung die Volumen-Bilanz aufgeht. Zwar müssen während der Gewinnungsphase Hohlräume für Infrastruktur offen gehalten werden, doch könnten diese im Zuge der Bergwerksschließung nachverfüllt werden. Es gibt also keine nachvollziehbare technische Begründung für die Notwendigkeit von permanenten Kalihalden, schon gar nicht in der bisher praktizierten Größe. Allenfalls kleine Interims-Halden zur Zwischenlagerung von Rückständen während der Betriebsphase wären unter Umständen begründbar.

Zur Einsparung knappen Versatzraums könnte jedoch auch eine (Teil-)Verwertung der Rückstandssalze, beispielsweise für den Winterdienst, erfolgen. Dies wird z.B. in Kanada praktiziert: In Saskatchewan werden durch NSC Minerals Inc. Fabrikrückstände der Lagerstätten Rocanville und Vanskoy zu Salzprodukten recycelt. Die Kapazität der beiden Anlagen liegt bei über 6000 Tonnen pro Tag (Canadian Minerals Yearbook, 2009).

Es wäre auch möglich durch Abbau und Vermarktung von Steinsalz zusätzlichen Versatzraum zu schaffen, wie es in der Penobsquis- bzw. Picadilly-Mine in New Brunswick geschieht (Webb, 2009). In diesem Zusammenhang ist von Interesse, dass sich im Bergwerk Hattorf, im Mittleren Werra-Steinsalz, ein zehn Meter mächtiges, hochwertiges Steinsalzpaket befindet, das im nordöstlichen Grubenfeld zwischen den Schächten Heimboldshausen/ Ransbach und Hattorf zur Gewinnung von Auftausalz abgebaut wird.

Aus dem versatzlosen Bergbau resultiert noch ein weiteres Problem, nämlich die Auspressung von Konvergenz-Lösungen ins Grundwasser: Bei der Flutung von Kalibergwerken entwickelt sich das System in Richtung auf gesättigte Gleichgewichtslösungen zu, indem es zu Lösungs- und Umlösungsprozessen mit festen Salzen kommt. Dadurch vergrößert sich das Hohlraumvolumen unter Umständen deutlich, insbesondere wenn carnallititische Salze aufgeschlossen sind. Durch Auflösung, durch Mineralreaktionen an tragenden Elementen und durch Feuchtekriechen verschlechtert sich auch die gebirgsmechanische Standsicherheit, die ja durch die Flutung eigentlich verbessert werden soll.

Durch die ablaufende Konvergenz des unversetzten Grubengebäudes wird das Flutungsmedium dann ins Grundwasser ausgepresst. Die gesättigten Salzlösungen können das 1000-fache Süßwasservolumen durch Überschreitung des Chloridgrenzwertes der Trinkwasserverordnung unbrauchbar machen. Pro 1 Million Kubikmeter Hohlraumvolumen ergibt sich somit ein Versalzungspotential für 1 Milliarde m³ (1 km³) Grundwasser. Beispielsweise haben die kleineren, derzeit in Flutung befindliche Kalibergwerke Niedersachsen-Riedel und Bergmannssegen-Friedrichshall im Hannoverschen Kalirevier flutbare Hohlraumvolumina von ca. 30 bzw. 40 Millionen m³. Zum Versalzungspotential der 3 zugehörigen Kalihalden (zusammen ca. 80 Mio. Tonnen, entsprechend 200 km³ Versalzungspotential) kommt also das Versalzungspotential durch Konvergenz-Lösungen von ca. 70 km³ Süßwasser hinzu.

Heute liegt der Preis für Trinkwasser bei ca. 1 Euro/m³. Wenn unsere Süßwasservorkommen in Zukunft weitgehend versalzen sein werden, wird dieser Preis sicher steigen. Auf Grundlage von 1 Euro/m³ lässt sich der zu erwartende volkswirtschaftliche Schaden durch das Versalzungspotential der deutschen Kalihalden auf 10^9t × 2500 m³/t × 1 Euro/m³ = 2.500 Milliarden Euro (2,5 Billionen Euro) beziffern. Hinzu kommen nochmal größenordnungsmäßig 1.000 Milliarden Euro (1 Billion Euro) für versalzenes Grundwasser durch ausgepresste Konvergenz-Lösungen. Hinzu kommen die Kosten für versalzene Süßwasserressourcen infolge fehlgeschlagener Entsorgungskonzepte wie der Kaliabwasserversenkung im Plattendolomit: bis heute rund 1 Milliarde m³ Kaliabwässer mit einem bereits weitgehend realisierten Versalzungspotential für 1.000 Milliarden Kubikmeter Süßwasser im Wert von ca. 1.0 Billion Euro. Hinzu kommen weiter die Kosten für nicht gewonnene Kaliressourcen in Stützpfeilern, die etwa den gleichen Wert wie die geförderten Kalisalze haben (kumulierte Kaliproduktion der letzten ca. 100 Jahre) sowie die massiven Wertstoffverluste durch ineffiziente Aufbereitungsverfahren.

Wenn im Zusammenhang mit Kalihalden und Versatzbergbau von „wirtschaftlicher Zumutbarkeit" die Rede ist, so wird stets nur an das Bergbauunternehmen gedacht. Die volkswirtschaftliche Zumutbarkeit wird hingegen nicht untersucht. Doch sind es gerade die Steuerzahler (das Volk), denen die enormen Bergbaufolgekosten immer wieder zugemutet werden (z.B. Beispiel: Wismut, Asse, Braunkohle, etc.).

Dabei ist die Behauptung, dass der Versatzbergbau wirtschaftlich nicht zumutbar sei bisher noch nie nachvollziehbar begründet worden. Die wirtschaftliche Unzumutbarkeit ist auch nicht gegeben, wie folgende Rechnung zeigt:

Pro Tonne Produkt fallen ca. 3 Tonnen Rückstände an (die teilweise bereits heute versetzt werden, z.B. Unterbreizbach). Die Aufhaldung kostet ca. 1,00 bis 1,50 Euro pro Tonne Rückstand, der Spülversatz in der flachen Lagerung ca. 8 Euro je Tonne, bei steiler Lagerung ca. 4 Euro je Tonne (RP Kassel, 2006, 2007; Symonds and COWI, 2001). Pro Tonne Produkt fallen also Mehrkosten (Versatz minus Aufhaldung) in Höhe von ca. 20 Euro (flache Lagerung) an. Bei einem Produkt-Preis von ca. 400 Euro pro Tonne würde sich das Produkt somit um ca. 5 % verteuern. --- Diese geringe Kostensteigerung für die Kaliindustrie kann kaum als unzumutbar angesehen werden, erst recht nicht, wenn man die volkswirtschaftlichen Kosten für Gewässerversalzung und Lagerstätten-Verluste gegenrechnet.

Produktionsabwässer, Haldenwässer, Wertstoffverluste

Krupp (2007) rechnete für das Werk Werra vor: *„Die geförderten Rohsalze haben einen Wertstoffgehalt von 26 bis 27 Prozent. Von der Jahresförderung (Bezugsjahr 2002) von 20,9 Mio. Tonnen Rohsalz werden nur 3,2 Mio. Tonnen Fertigprodukte hergestellt, während 2,2 Mio. Tonnen Wertstoffe ins Abwasser und auf Halde gehen. … Eine weitere Betrachtung zeigt, dass pro Kubikmeter Abwasser 22,3 kg Kalium und 38 kg Magnesium verloren gehen. Dies entspricht 290.000 Tonnen K und 486.000 t Mg pro Jahr. (Die Kaliumverluste lassen sich auch als 555.000 Tonnen KCl-Dünger (MOP) oder 22,2 Mio. Sack 63er Kalidünger pro Jahr ausdrücken, bzw. 2 Sack Kalidünger je Kubikmeter Abwasser, oder werktäglich 2 Güterzüge voll Kalidünger.)“*

An diesen Verhältnissen hat sich seither nicht viel verbessert. Immerhin wurden mittlerweile aber im Rahmen des sogenannten „360 Millionen Euro Maßnahmenpaketes“ einige (längst überfällige) Verbesserungen in die Wege geleitet. Dadurch sollen beispielsweise die Kali-Verluste im Abwasserstrom um 30 Prozent gemindert werden können. Allein die jährlich erwarteten 166.000 Tonnen zusätzlich gewonnenes KCl und 125.000 Tonnen Magnesiumsulfat aus den Abwasserströmen haben einen Marktwert von fast 100 Mio. Euro, sodass sich die getätigten Investitionen schnell amortisieren werden.

Ähnlich hohe Wertstoffverluste treten auch bei anderen K+S Kaliwerken auf. Im Werk Zielitz beispielsweise gehen im Haldenwasser (0,9 Mio. m^3/a) rund 50 kg KCl pro m^3 oder 45.000 Tonnen KCl/a verloren (K+S, 2014).

Die in den Abwasserströmen (Produktionsabwässer und Haldenwässer) dominierenden Salze sind das NaCl und das $MgCl_2$, neben KCl und $MgSO_4$. Es sind jeweils gesättigte bis fast gesättigte Salzlösungen (sog. „Laugen“). Die Gesamt-Salzgehalte liegen um ca. 350 g/L (350 kg/m^3). Diese Abwässer können durch Vermischung (Verdünnung) etwa das 1000-fache Volumen Süßwasser versalzen, indem der Chlorid-Grenzwert der Trinkwasserverordnung überschritten wird. Sie besitzen daher, ähnlich wie die Rückstandssalze der Kalihalden, ein enorm hohes Versalzungspotential.

Die bisherige „Entsorgung“ der Abwasserströme durch Einleitung in die Flüsse haben besonders am Werra-Weser-System (Fluss plus kommunizierende Grundwasserkörper plus abhängige Ökosysteme) massive ökologische und ökonomische Schäden auf über 600 km Flusslänge verursacht. Am Werra-Pegel Gerstungen, mit einem gegenwärtigen Chlorid-Grenzwert von 2500 mg/L Cl und einem Grenzwert für die Gesamthärte von 90° dH hat der Fluss Brackwasser-Qualität. Selbst an der Unterweser sind die Salzgehalte immer noch so hoch, dass die Stadt Bremen klein Trinkwasser aus dem Weser-Uferfiltrat gewinnen kann. Auch hierdurch entstehen volkswirtschaftliche Kosten für Fischerei, Tourismus, durch Korrosionsschäden an Schiffen, Brücken, sonstigen Wasserbauwerken.

Der zweite bisherige „Entsorgungsweg“, die Versenkung oder Verpressung der Abwasserströme im Zielgestein Plattendolomit, hat dessen „Aufnahmefähigkeit“ längst überschritten. Tatsächlich ist eine volumenmäßige Aufnahmefähigkeit überhaupt nicht vorhanden, sondern es wird eine Verdrängungskette jüngeres Kaliabwasser – älteres Kaliabwasser – Kali-Mischwasser – Plattendolomit-Formationswasser – Süßwasser – Oberflächenwasser in Gang gesetzt, bei der es auch zu Vermischungen und zu Nebengesteinsreaktionen (Dolomitisierung, Magnesitisierung) kommt. Die Versenkung und damit die Verdrängung funktioniert nur, weil der Plattendolomit kein geschlossenes System darstellt, sondern undicht ist, eine Tatsache die bis vor wenigen Jahren von der Kaliindustrie und den Bergbehörden noch vehement bestritten worden ist, weil sie doch eine zentrale Grundannahme des Entsorgungskonzepts war.
Als Folge der seit 1926 praktizierten Versenkung von mittlerweile rund 1 Milliarde m^3 (1 km^3) Kaliabwasser sind regional weite Teile des ursprünglich Süßwasser führenden Buntsandsteins und des Quartärs versalzen worden. Dies wird jetzt auch von K+S und den Bergbehörden nicht mehr geleugnet.

Die an der Oberfläche wieder ankommenden und in die Vorflut (Werra) eingetragenen Versenkrückläufe (Chlorid-Frachten) sind inzwischen auf 50 bis 80 Prozent der versenkten Chlorid-Frachten angestiegen (Krupp, 2013). Große ehemalige Süßwasservorkommen im Buntsandstein sind für die Gewinnung von Trinkwasser verloren. Etliche Trinkwasserbrunnen in Hessen und Thüringen mussten infolge der Versalzung aufgegeben werden. Weitere Brunnen sind akut gefährdet, was aber von der Kaliindustrie und den Bergbehörden, trotz erdrückender gegenteiliger Beweise und negativer Erfahrungen aus der Vergangenheit, immer noch bestritten wird. Unbeirrt von alledem hat K+S vor wenigen Tagen angekündigt (hr online, 2014), neue Anträge zur Abwasserversenkung, über das Jahr 2015 hinaus, stellen zu wollen.

Von einer Gefährdung der deutschen Kaliindustrie bei Wegfall der Abwasserversenkung und Einleitung in die Werra kann jedoch keine Rede sein. Es liegen zwei gangbare Alternativen zur Einleitung und Verpressung der Kaliabwässer vor, die von K+S wahlweise realisiert werden können. Dies sind (1) der Bau einer Nordsee-Pipeline und (2) die Eindampfung der Abwasserströme.

Die Idee zum Bau einer Pipeline (zuvor eines Abwasserkanals) zur Nordsee ist bereits viele Jahrzehnte alt. Durch ein solches Entsorgungskonzept würden die bereits seit über 100 Jahren in die Nordsee eingeleiteten Abwasserströme statt durch das Werra-Weser-System lediglich parallel dazu per Rohrleitung in die Nordsee eingeleitet. Dadurch könnten, nach über 100 Jahren, Werra und Weser auf einer Länge von über 600 Flusskilometern von einer industriellen Salz-Kloake endlich wieder zu Süßwasser-Flüssen werden. Die Salzeinleitungen sollen nach derzeitigen Planungen in den Jadebusen erfolgen, einem Ausläufer der Deutschen Bucht mit ständigem Wasseraustausch durch Gezeitenwechsel. Signifikante ökologische Schäden durch die Salzwassereinleitungen werden nach derzeitigem Kenntnisstand nicht erwartet. Geringe und lokal begrenzte Schäden, sofern sie denn zu erwarten wären, könnten gegenüber dem Gewinn an Gewässerqualität für das gesamte Werra-Weser-System auch hingenommen werden. Bei Realisierung der Pipeline wäre jedoch dafür zu sorgen, dass nur Kaliabwässer mit nur noch geringen Restgehalten an Wertstoffen eingeleitet werden dürfen.

Das bereits früher vorgeschlagene Konzept zur Eindampfung der Kaliabwasserströme (Krupp, 2011; 2010; 2002; 2001) wurde im Rahmen der Beratungen des Runden Tischs durch die Studien von K-UTEC (2014) und Quicker (2013) weiter konkretisiert. Im Ergebnis wurden mehrere Varianten eines Verdampfungsverfahrens betrachtet, die aus den Abwasserströmen (ca. 6 Mio.m^3/a) erhebliche Mengen verkaufsfähiger Produkte, insbesondere Kaliumsulfat (ca. 550.000 Tonnen pro Jahr) und Siedesalz (ca. 570.000 Tonnen pro Jahr) gewinnen. Da es sich bislang nur um Vorstudien handelt, wäre eine umgehende vertiefende Planung einer entsprechenden Anlage erforderlich, zu der aber bislang kein Auftrag vergeben worden ist (trotz entsprechender Forderungen des Runden Tisches).

Durch die Verkaufserlöse erscheinen diese Verfahren wirtschaftlich rentabel und somit der Kaliindustrie zumutbar, auch wenn die Investition von Gewinnen an anderer Stelle dem DAX-Konzern vielleicht lukrativer erscheinen mag. Von K+S behauptete wirtschaftliche Verluste beruhen jedenfalls auf unrealistischen Annahmen, wie K-UTEC (2014) nachweisen konnte.

Es verbleiben am Ende der Eindampfung deutlich verringerte Mengen (ca. 1,7 Mio. m^3/a) einer hochkonzentrierten Magnesiumchlorid-Restlösung übrig, für die eine Entsorgung als Bestandteil von Dickstoffversatz vorgeschlagen wurde. (Dickstoffversatz ist eine aushärtende Rezeptur aus Magnesiumchlorid-reichen Lösungen und basischen Reststoffen, hauptsächlich Rauchgasreinigungsrückständen aus der Müllverbrennung.) Da es sich bei der Magnesiumchlorid-Restlösung eigentlich um einen hochwertigen Rohstoff handelt, der nur derzeit in Deutschland keinen ausreichenden Markt hat, wäre eine andere Option sinnvoller, die den Rohstoff grundsätzlich verfügbar hält.

In Verbindung mit dem aus anderen Gründen ohnehin notwendigen Versatzbergbau (s.o.) wäre eine solche Option gegeben, indem die Magnesiumchlorid-Lösung als Trägerflüssigkeit für den Spülversatz verwendet und nach abgeschlossenem Versatz eines Abbaus bzw. Feldesteils einfach nur an Ort und Stelle im Versatz-Porenraum verbleibt. Selbst wenn man von optimalen Versatzdichten (geringe Porosität) ausgeht, könnten doch bedeutende Lösungsmengen untergebracht werden: Bei einer maximal erreichbaren Versatzdichte von 1950 kg/m³ (Steinsalz-Dichte = 2200 kg/m³) und hohen Versetzungsgraden von 95% verbleibt ein aufnahmefähiges Restvolumen von 15% des geometrischen Abbau-Volumens. Das heißt, in jedem Kubikmeter optimal versetztem Hohlraum könnte man zusätzlich mindestens 0,15 m³ Magnesiumchlorid-Lösung unterbringen (Krupp, 2014).

Das $MgCl_2$ würde so als Rohstoff in konzentrierter Form erhalten bleiben und könnte, falls einmal später eine Verwendung dafür gegeben ist, einfach durch Bohrungen wieder gefördert werden. Die zusätzlichen Kosten für diesen Entsorgungsweg der Laugen wären praktisch null, weil die zu entsorgenden Lösungen zusammen mit den Fabrikrückständen verspült würden und zugleich als Trägerflüssigkeit dienen würden, also in den Versatzkosten bereits berücksichtigt sind.

Schlussfolgerungen und Forderungen

- Als wichtige industriepolitische Aufgabe wird die Schließung von Salz-Kreisläufen zwischen unterschiedlichen Industriezweigen gesehen. Großverbraucher von Salz, wie beispielsweise die Chloralkali-Elektrolyse und die Soda-Industrie, sowie die Hersteller von Siedesalz und Steinsalzprodukten sollten als Ausgangsstoff und Rohstoffbasis vorzugsweise die Abfälle der Kaliindustrie nutzen.
- Künftig sollte an allen Kalistandorten die Versatzpflicht (wieder) eingeführt und die planmäßige Rückgewinnung der Stützpfeiler vorgeschrieben werden.
- Die Mehrkosten bei vollständigem Spülversatz (in der flachen Lagerung) würden die Produktpreise um lediglich ca. 5 Prozent erhöhen. Diese Mehrkosten erscheinen daher ohne weiteres zumutbar.
- Die volkswirtschaftlichen Kosten für verdorbene Süßwasservorräte und verschwendete Rohstoffe, für Bodensenkungen und andere Umweltschäden belaufen sich auf etliche Billionen Euro.
- Durch die Auflockerung der zu versetzenden Rückstände haben diese gegenüber gewachsenem Steinsalz zwar einen höheren Raumbedarf. Beim Spülversatz entspricht aber der infolge seiner Auflockerung vorhandene Porenraum-Anteil volumenmäßig in etwa dem Wertmineral-Anteil des gewachsenen Rohsalzes, so dass trotz der Auflockerung die Volumen-Bilanz ungefähr aufgeht.
- Sofern dennoch Volumendefizite beim Versatz der Fabrikrückstände auftreten sollten, können diese durch eine teilweise stoffliche Verwertung der Rückstandssalze und/oder durch eine Hohlraumschaffung durch Parallelgewinnung von verkaufsfähigem Steinsalz kompensiert werden.
- In Kalibergwerken sollten bergbaufremde Abfälle nur noch in Bereichen versetzt werden dürfen, in denen zuvor die Kalisalz-Stützpfeiler nachgewonnen worden sind.
- Der Abbau von Kalisalzen in der flachen und halbflachen Lagerung durch Örterbau mit Langpfeilern, in Verbindung mit Spülversatz und der Nachgewinnung der Kalisalz-Pfeiler, wurde im Südharz-Revier lange Zeit in der Praxis eingesetzt und ist daher Stand der Technik. Aufgrund seiner Vorteile für den Umweltschutz (vollständige Lagerstättennutzung, keine Kalihalden, geringe Bodensenkungen) ist diese Gewinnungsmethode auch die Beste Verfügbare Technik (BVT).
- Bergschäden und Bodensenkungen sowie weitere Grundwasserversalzungen infolge Konvergenz können nur durch einen möglichst zeitnahen Versatz der Kaliabbaue vermieden bzw. auf ein erträgliches Maß reduziert werden.
- Das Versalzungspotential der in Deutschland lagernden Rückstandshalden für Süßwasser liegt bei 2.500 km³ und wird sich ohne Gegenmaßnahmen im Lauf der nächsten Jahrtausende voll entfalten.

Im Grundwasser wird das Maximum der Versalzung gegen Ende der Lebensdauer der Kalihalden erreicht werden. Um die resultierenden katastrophalen Versalzungsschäden zu reduzieren ist ein zeitnaher Rückbau der Kalihalden erforderlich.

- Eine Abdeckung der Kalihalden wird das Ausmaß der Versalzungsproblematik nicht mindern, sondern nur zeitlich in die Länge ziehen.
- Eine Abdeckung be- oder verhindert eine stoffliche Verwertung der in Kalihalden enthaltenen Sekundär-Rohstoffe, im Wesentlichen Salz (NaCl).
- Das Recycling von Kali-Rückstandshalden zu Salz-Produkten ist mittlerweile im Ausland Stand der Technik.
- Bei den Abwasserströmen handelt es sich um hochkonzentrierte bis gesättigte Lösungen der Salze NaCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$ und KCl, mit Gesamtmineralisationen um 350 g/L. Ein Kubikmeter Kaliabwasser kann durch Vermischung rund 1000 Kubikmeter Süßwasser unbrauchbar machen, durch Überschreitung des Chlorid-Grenzwertes (250 mg/L Cl) der Trinkwasserverordnung.
- Die Wertstoffverluste in den Abwasserströmen (Produktionsabwässer und Haldenwässer) liegen in einer Größenordnung von jeweils rund 1 Zentner Kali (50 kg KCl) und 1 Zentner Bittersalz (50 kg $MgSO_4$) pro Kubikmeter Abwasser und summieren sich aufgrund der hohen Abwassermengen auf etliche hunderttausend Tonnen pro Jahr. Die volkswirtschaftlichen Verluste erreichen eine Höhe von mehreren hundert Millionen Euro jährlich.
- Nach Wegfall der bisherigen Entsorgungswege für die Kaliabwässer bestehen zwei grundsätzliche Optionen: (1) Bau einer Nordsee-Pipeline und Einleitung der Abwasserströme in die Nordsee und/oder (2) Bau einer Eindampfungsanlage zur Eindampfung und Rückgewinnung von Wertstoffen aus den Abwasserströmen.
- Die Nordsee-Pipeline könnte bei gutem Willen aller Beteiligten in wenigen Jahren in Betrieb gehen. Allerdings sollte nicht zugelassen werden, dass die wertstoffreichen Abwässer ohne weitere Rückgewinnungsmaßnahmen einfach ins Meerwasser „entsorgt“ werden. In Verbindung mit einer ausreichend dimensionierten Nordsee-Pipeline lassen sich grundsätzlich auch die vorhandenen Kalihalden zurückbauen und entsorgen, so dass die Haldenwasserproblematik der Post-Bergbauphase grundsätzlich lösbar wäre.
- Der Vorteil einer Eindampfungsanlage besteht in der Möglichkeit durch fraktionierende Vakuum-Kristallisation erhebliche Mengen verwertbarer Halb- und Fertigprodukte aus dem Abwasser zu gewinnen. Die als Eindampfungsreste verbleibenden hochkonzentrierten Magnesiumchlorid-Lösungen könnten zusammen mit Spülversatz versetzt werden und würden für eine spätere Nutzung verfügbar bleiben. Der Rückbau und die Entsorgung der bestehenden Kalihalden müssten auf anderem Weg erfolgen, beispielsweise durch stoffliches Recycling zu Streusalz oder Siedesalz, oder als Füllstoff für stillzulegende Kavernenanlagen und natürlich der Kalibergwerke selbst.

Quellen

Bodenstein J, Schreiner W (1999) Reduzierung der Bergsenkungen durch Einbringen von Spülversatz – Gebirgsmechanisch-bergschadenkundliche Aspekte der Anwendung des Spülversatzverfahrens im Kalibergbau. Erschienen in: Spülversatz im Salzbergbau.- Freiberger Forschungshefte, A 855, S. 113-124, TU Bergakademie Freiberg, 2001

Bodenstein J., Rauche H., Schreiner W,. Eulenberger K. (2001) Reduction of surface subsidence and brine inflow prevention in potash mines by subsequent backfill. Tailings and Mine Waste 01, 2001, Verlag Balkema, Rotterdam, ISBN 9058091821.

BUND (2007) Offener Brief an das Landesbergamt Fragenkatalog bezüglich Flutung der Bergwerke Hugo und Friedrichshall.

http://region-hannover.bund.net/fileadmin/bundgruppen/bcmshannover/bergbaufolgen/Fragenkatalog_BUND_WebSite.pdf

Canadian Minerals Yearbook (2009) Salt.
http://www.nrcan.gc.ca/minerals-metals/business-market/canadian-minerals-yearbook/2009-review/3127

Duchrow G (1990) Die bergtechnische Entwicklung des Kalisalzbergbaus der DDR.
Glückauf, 126, 1016-1033.

Duchrow G und Schilder C (1985) Lagerstätten-Verlustsenkung bei der Anwendung von Kammer-Pfeiler-Abbauverfahren. Neue Bergbautechnik, 15(12), 441-446.

hr online (2014) Streit um Entsorgung: K+S will Salzlauge weiter versenken. 03.07.2014
http://www.hr-online.de/website/condlink_gate.jsp?key=standard_document_52261287&type=d&xtmc=kali&xtcr=3

HAZ (2010) Papenburg löst Streusalzproblem. Hannoversche Allgemeine Zeitung.
http://www.haz.de/Hannover/Aus-der-Region/Im-Norden/Wedemark/Papenburg-loest-Streusalzproblem

Krupp R (2001) Verfahren zur Gewinnung von Magnesiumhydroxid, Gips und weiteren Produkten aus natürlichen und technischen Salzsolen, insbesondere Endlaugen der Kaliwerke. Patentanmeldung, Az. 101 54004.3, 2001.

Krupp R (2002) Stoffliche Verwertung von Rückstandshalden und Endlaugen der Kaliwerke. Glückauf 138 (2002) Nr. 10, 484-488.

Krupp R (2003) Umweltschäden und stoffliche Verwertungspotentiale in der Kali- und Salz-Industrie. Umweltinformationen für Niedersachsen (UIN). Landesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz. Ausgabe 53/2003, 46 S.

Krupp R (2007) Abfälle des Kalibergbaus: Stoffliche Verwertung oder umweltverträgliche Beseitigung? 2. Weser-Anrainer-Konferenz am 29.11.2007 in Lauchröden, Thüringen
http://www.gerstungen.de/scripts/dbfiles/32842/8d5129a2e0dcda13297a7e63f99d774d/Krupp_Vortrag_2teAnrainerkonferenz.pdf

Krupp R (2010) Konzept zur Eindampfung der Kaliabwässer am Standort Werra. Schreiben an MdL Ronald Schminke, Nikolaistraße 30, 37073 Göttingen.

Krupp R (2011) Alternative Produktions-, Aufbereitungs- und Entsorgungsverfahren im Thüringisch-Hessischen Kalirevier. Betrachtungen zur Nachhaltigkeit des Kalibergbaus.
http://www.die-linke-thl.de/fileadmin/lv/dokumente/presse/sonstiges/Krupp_Gutachten_nachhaltiger_Kalibergbau.pdf

Krupp R (2013) Gefährdung der Gerstunger Brunnen durch Kaliabwasserversenkung. Stand Oktober 2013
http://www.wasser-in-not.de/dateien/stellungnahmen-gutachten/stellungnahmen-dr-krupp/2013-11-04%20Krupp_zu_Verdraengungsketten_4.pdf

Krupp R (2014) Entsorgungsoptionen für Magnesiumchlorid-Abwässer der Kaliindustrie. Schreiben vom 22.01.2014 an MdL Tilo Kummer, Vorsitzender des Ausschusses für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Thüringer Landtag.

K+S (2014) Antrag auf Planänderung, Haldenkapazitätserweiterung Zielitz. Stand Mai 2014.

K-UTEC (2013) Stellungnahme zur Präsentation „Plausibilitätsprüfung der Projektidee: Eindampfen von 6,8 Mio. m3 Salzwässern / Produktion von Kaliumsulfat"
http://www.k-utec.de/fileadmin/resources/News/warraplausibilitaetspruefung.pdf

LBEG (2014) Flutung von Salzbergwerken. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen. (Homepage, Stand 10.07.2014)
http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=804&article_id=540&_psmand=4

Leitung Runder Tisch (2014) Abwasserfreie Kaliproduktion – Realität oder Utopie? Zusammenstellung des Leiters und der wissenschaftlichen Begleitung des Runden Tisches „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion" Prof. Dr. Hans Brinckmann (Leiter), Prof. Dr. Dietrich Borchardt (Wissenschaftliche Begleitung), Dr. Christoph Ewen (Kommunikative Begleitung), Dr. Sandra Richter (Wissenschaftliche Begleitung). Kassel, den 13.06.2014. (Fassung nicht vom Plenum des Runden Tisches autorisiert!)

Quicker P (2013) Entsorgung von Kaliabwässern durch Eindampfung. Evaluierung eines alternativen Entsorgungsszenarios für Kaliabwässer der K+S KALI GmbH.
http://www.runder-tisch-werra.de/show_image.php?id=1265&download=1

Rauche H, Fulda D, Schwalm V (2001) Tailings and Disposal Brine Reduction – Design Criteria for Potash Production in the 21st Century. Proceedings of the Eighth International Conference on Tailings and Mine Waste `01, Fort Collins / Colorado / USA / 16 – 19 January 2001
http://ercosplan.info/startseite_russ/pdf_abstract/Paper%20Rauche,%20Fulda,%20Schwalm.pdf

RP Kassel (2006) Pilotprojekt Werra-Salzabwasser. 2. Zwischenbericht. Regierungspräsidium Kassel, Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz. Projektdurchführung Dezernat 31.1, Bad Hersfeld.
http://www2.hmuelv.hessen.de/imperia/md/content/internet/wrrl/2_umsetzung/pp_werra/zwischenbericht_2_pilotprojekt_werra.pdf

RP Kassel (2007) Pilotprojekt Werra-Salzabwasser. Endbericht. Regierungspräsidium Kassel, Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz. Projektdurchführung Dezernat 31.1, Bad Hersfeld. Januar 2007
http://www2.hmuelv.hessen.de/imperia/md/content/internet/wrrl/6_extranet/gremien/2007/veranstaltungen/pilotprojekt_werra_endbericht_070223.pdf

Schlotzhauer M und Jacob T (2005) Spülversatz im Grubenbetrieb Unterbreizbach des Werkes Werra der K+S KALI GmbH. Kali und Steinsalz 2(2005), 34-39
www.vks-kalisalz.de/images/pdfs/2_05_K&Stein.pdf

Symonds und COWI (2001) Final report to DG ENV on Mine Waste Costs.
http://www.ec.europa.eu/environment/waste/studies/mining/mining_cost.pdf

Webb, T. C. (2009) New Brunswick Potash: A review of Developments and Potential Exploration Alternatives.- New Brunswick Department of Natural Resources.
https://www.gnb.ca/0078/minerals/PDF/IC_2008-4_Report.pdf